

УДК (UDC) 621.86

УТОЧНЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ПРИ СИНТЕЗЕ
СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ПРИВОДОВ МЕХАНИЗМОВ
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ОСНОВЕ
ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМАREFINEMENT OF THE FITNESS FUNCTION IN THE SYNTHESIS OF
STRUCTURAL DIAGRAMS OF DRIVE MECHANISMS OF
LIFTING AND TRANSPORT MACHINES BASED ON
A GENETIC ALGORITHMГончаров К.А.
Goncharov K.A.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Определение вида функции приспособленности при синтезе структурных схем приводов механизмов подъемно-транспортных машин является ключевой задачей в случае применения процедуры генетического алгоритма. В настоящей статье предложено решение, представляющее собой сочетание метода экспертных оценок и элементов построения байесовских сетей. При формировании функции приспособленности байесовская сеть ограничивается одним (предыдущим) уровнем взаимодействия, что уменьшает громоздкость решения, не лишая его физического смысла. Вероятности на всех уровнях взаимодействия могут заменяться на экспертные оценки. При этом учет сочетаемости элементов привода на каждой ступени представляет собой поправочный коэффициент к весу возможности применения элемента в приводе конкретного механизма подъемно-транспортной машины. Функция приспособленности сохраняет вид суммы весов без перехода к классическому байесовскому поиску итоговой вероятности, так как физический смысл формирования структуры привода должен учитывать вероятностную достоверность или невозможность той или иной компоновки привода.

Ключевые слова: синтез, привод, структурная схема механизма, генетический алгоритм.

Дата получения статьи: 10.07.2026
Дата принятия к публикации: 08.09.2026
Дата публикации: 25.09.2026

Сведения об авторе:

Гончаров Кирилл Александрович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», Российский университет транспорта,
e-mail: goncharov_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

Abstract. Defining the fitness function for synthesizing structural drive circuits for lifting and transport machine mechanisms is a key task when using a genetic algorithm. This article proposes a solution that combines expert assessments and elements of Bayesian network construction. When forming the fitness function, the Bayesian network is limited to one (previous) interaction level, which reduces the complexity of the solution without depriving it of physical meaning. Probabilities at all interaction levels can be replaced by expert assessments. Moreover, taking into account the compatibility of drive elements at each stage represents a correction factor to the weight of the possibility of using the element in the drive of a specific lifting and transport machine mechanism. The fitness function retains the form of a sum of weights without switching to a classical Bayesian search for the final probability, since the physical meaning of forming the drive structure must take into account the probabilistic reliability or impossibility of a particular drive arrangement.

Keywords: synthesis, drive, structural diagram of the mechanism, genetic algorithm.

Date of manuscript reception: 10.07.2026
Date of acceptance for publication: 08.09.2026
Date of publication: 25.09.2026

Author's information:

Kirill A. Goncharov – Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department of Land Transport and Technological Means, Russian University of Transport,
e-mail: goncharov_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

1. Введение

Определение вида функции приспособленности при синтезе структурных схем приводов механизмов подъемно-транспортных машин является ключевой задачей в случае применения процедуры генетического алгоритма, в том числе в структуре нейронной сети [1, 2]. Линейные решения на основе метода экспертных оценок являются недостаточными в плане точности и достоверности итогового результата в случае учета малого количества экспертных мнений. С другой стороны можно обратить внимание на значительный объем статистических данных по типам подъемно-транспортных машин, выражая возможность и частоту применения той или иной схемы компоновки привода какого-либо механизма через соответствующую вероятность, определяемую на основе этих данных.

Важным обстоятельством при формировании структуры привода является система ограничений, учитывающая техническую возможность взаимодействия узлов и элементов привода друг с другом. В статьях [1, 2] данные ограничения были реализованы посредством обнуления значения веса какого-либо узла в случае невозможности его взаимодействия с предыдущим или последующим элементом. Однако в реальных условиях скорее возможен не полный запрет на взаимодействие элементов, а редкость реализации такого взаимодействия. К примеру, сочетание «ручного многоскоростного плавного регулирования» и «электродвигателя с фазным ротором» является редким. Для двигателей с фазным ротором в контексте применения в механизмах подъемно-транспортных машин характерно «многоскоростное ступенчатое регулирование», но при переводе уже существующих механизмов подъема грузоподъемных кранов на системы управления на основе тиристорных преобразователей частоты такое сочетание становится возможным. Хотя при создании новых образцов машин это же сочетание теряет смысл из-за возможности применения гораздо более дешевых электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Таким образом, можно определить два принципиальных пути учета сочетаемости

узлов внутри привода: каждому сочетанию присвоить экспертную оценку либо каждому сочетанию присвоить вероятность его существования (степень встречаемости) среди существующих или теоретически совместимых вариантов.

В случае учета вероятностей сочетаемости элементов привода при последовательном построении варианта структуры (хромосомы в генетическом алгоритме) формируется частный случай байесовской сети [3]. Ключевым отличием данного частного случая является учет взаимоотношений посредством вероятностей только находящихся рядом уровней. С одной стороны данное допущение имеет технический смысл: сочетание системы управления и типа двигателя никак не определяет вероятность применения в приводе барабана или канатоведущего шкива. В данном примере приведено применение независимых конструктивных решений. С другой стороны «многоскоростное ступенчатое регулирование» может быть реализовано при любом двигателе при условии применения через уровень после него фрикционной муфты (муфты сцепления) и далее «редуктора с разными передачами» (его реализация в виде ручной коробки переключения передач). Степень влияния описанного допущения на качество итогового результата можно оценить только посредством дополнительных исследований с последующим поиском механизмов компенсации или сохранения принципов его действия в полном объеме – в зависимости от результата. Устранение данного допущения приведет к необходимости развертывания полноценной сквозной байесовской сети для нахождения приемлемого итогового результата, что является в значительной степени громоздким процессом и требует серьезных вычислительных ресурсов.

В качестве отдельного вопроса стоит рассмотреть сравнительное качество получаемого в результате исполнения генетического алгоритма результата при применении шкалы экспертных оценок (1 – 9) и шкалы вероятностей (сумма всех вероятностей внутри одного признака равна 1). Математически данные шкалы можно приводить к одинаковым соотношениям весов между элементами, однако

физический смысл в случае применения шкалы вероятностей базируется на анализе статистических данных, а в случае шкалы экспертных оценок – на субъективном мнении экспертов.

2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является разработка функции приспособленности для дальнейшего применения при реализации генетического алгоритма на основе частного

случая байесовской сети, в котором учитывается взаимодействие только находящихся рядом уровней, а итоговое значение функции определяется суммированием величин признаков с учетом коэффициентов их возможного взаимодействия.

3. Особенности проведения исследования

Общую структуру построения хромосомы обозначим в виде, представленном на рис. 1.

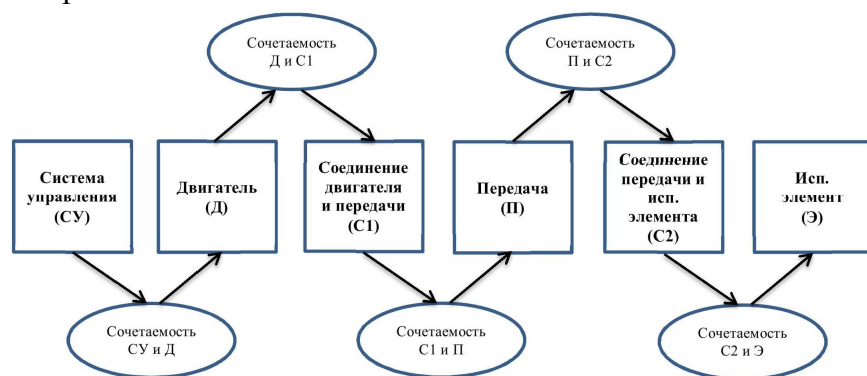


Рис. 1. Общая структура построения хромосомы с учетом сочетаемости элементов

Если в работах [1, 2] значение функции приспособленности определялось суммированием весов элементов СУ-Д-C1-П-C2-Э, то в предлагаемой функции приспособленности вводятся прослойки в виде матриц взаимоотношения каждых двух соседних элементов.

Матрицы сочетания представим в двух видах: пять матриц, заполненных экспертными оценками, и пять матриц, заполненных оценками вероятностей взаимоотношений элементов. Матрицы экспертных оценок представлены в табл. 1 – 5. Матрицы вероятностей – в табл. 6 – 10.

Таблица 1

Экспертные оценки сочетаний систем управления и двигателей

Система управления		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Двигатель		Гидропривод - дроссельное регулирование	Гидропривод - машинное регулирование	ЭД - ручное многоступенчатое плавное регулирование	ЭД - ручное многоступенчатое регулирование	ЭД - автоматическое многоступенчатое плавное регулирование	ЭД - автоматическое многоступенчатое регулирование	Без регулирования на естественных механических характеристиках	ЭД - автоматическое одноступенчатое плавное регулирование
C1	Гидромотор	9	9	1	1	1	1	4	1
C2	ЭД переменного тока с короткозамкнутым ротором	1	1	4	1	4	1	4	9
C3	ЭД переменного тока с фазным ротором	1	1	4	9	1	4	4	4
C4	ЭД постоянного тока	1	1	9	1	4	1	4	9
C5	Ручной при-	1	1	1	1	1	1	1	1

	вод								
--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 2

Экспертные оценки сочетаний двигателей и их соединений с передачами

Соединение с передачей		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Двигатель		Компенсирующая муфта	Компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Планетарная муфта	Планетарная муфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Фрикционная муфта	Фрикционная муфта + трансмиссионный вал + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Двигатель совмещен с редуктором
C1	Гидромотор	8	5	4	4	5	4	1	1	1
C2	ЭД переменного тока с короткозамкнутым ротором	9	4	5	5	4	5	5	5	5
C3	ЭД переменного тока с фазным ротором	9	5	4	5	5	4	4	4	1
C4	ЭД постоянного тока	4	5	5	4	4	5	5	5	1
C5	Ручной привод	1	1	1	1	1	1	1	1	8

Таблица 3

Экспертные оценки сочетаний соединений и передач

Соединение с передачей		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Передача		Компенсирующая муфта	Компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Планетарная муфта	Планетарная муфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Фрикционная муфта	Фрикционная муфта + трансмиссионный вал + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Двигатель совмещен с редуктором
C1	Цилиндрический редуктор	9	4	3	4	5	5	4	5	8
C2	Червячный редуктор	8	5	5	5	6	4	5	4	8
C3	Конический редуктор	8	6	4	6	5	4	4	5	4
C4	Планетарный редуктор	9	5	6	5	4	5	4	6	5
C5	Редуктор с разными передачами	8	4	5	4	3	3	4	5	9

Таблица 4

Экспертные оценки сочетаний передач и их соединений с исполнительными элементами

Соединение с передачей		C1	C2	C3
Передача		Жесткая компенсирующая муфта	Совмещение опоры исполнительного элемента с валом редуктора	Тихоходная зубчатая передача
C1	Цилиндрический редуктор	9	9	5
C2	Червячный редуктор	8	5	5
C3	Конический редуктор	8	4	5
C4	Планетарный редуктор	9	4	1

C5	Редуктор с разными передачами	9	4	1
----	-------------------------------	---	---	---

Таблица 5

Экспертные оценки сочетаний соединений передач и исполнительных элементов

Соединение с передачей		C1	C2	C3
Исполнительный элемент		Жесткая компенсирующая муфта	Совмещение опоры исполнительного элемента с валом редуктора	Тихоходная зубчатая передача
C1	Барaban	9	9	4
C2	Канатоведущий шкив	4	9	5
C3	Приводная звездочка	5	9	4

Таблица 6

Вероятности сочетаний систем управления и двигателей

Система управления		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Двигатель		Гидропривод - дроссельное регулирование	Гидропривод - машинное регулирование	ЭД - ручное многоскоростное плавное регулирование	ЭД - ручное многоскоростное ступенчатое регулирование	ЭД - автоматическое многоскоростное плавное регулирование	ЭД - автоматическое многоскоростное ступенчатое регулирование	Без регулирования на естественных механических характеристиках	ЭД - автоматическое односкоростное плавное регулирование
C1	Гидромотор	1	1	0	0	0	0	0,25	0
C2	ЭД переменного тока с короткозамкнутым ротором	0	0	0,25	0	0,5	0	0,25	0,4
C3	ЭД переменного тока с фазным ротором	0	0	0,25	1	0	1	0,25	0,2
C4	ЭД постоянного тока	0	0	0,5	0	0,5	0	0,25	0,4
C5	Ручной привод	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 7

Вероятности сочетаний двигателей и их соединений с передачами

Соединение с передачей		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Двигатель		Компенсирующая муфта	Компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Планетарная муфта	Планетарная муфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Фрикционная муфта	Фрикционная муфта + трансмиссионный вал + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Двигатель совмещен с редуктором
C1	Гидромотор	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0	0
C2	ЭД переменного тока с короткозамкнутым ротором	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,34	0,34	0,34
C3	ЭД переменного тока с фазным ротором	0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0
C4	ЭД постоянного тока	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,33	0,33	0
C5	Ручной привод	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66

Таблица 8

Вероятности сочетаний соединений и передач

Соединение с передачей		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Передача		Компенсирующая муфта	Компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Планетарная муфта	Планетарная муфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Фрикционная муфта	Фрикционная муфта + трансмиссионный вал + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта	Гидромуфта + компенсирующая муфта + трансмиссионный вал	Двигатель совмещен с редуктором
C1	Цилиндрический редуктор	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25
C2	Червячный редуктор	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25
C3	Конический редуктор	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,12
C4	Планетарный редуктор	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,13
C5	Редуктор с разными передачами	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25

Таблица 9

Вероятности сочетаний передач и их соединений с исполнительными элементами

Соединение с передачей		C1	C2	C3
Передача		Жесткая компенсирующая муфта	Совмещение опоры исполнительного элемента с валом редуктора	Тихоходная зубчатая передача
C1	Цилиндрический редуктор	0,2	0,33	0,67
C2	Червячный редуктор	0,2	0,17	0,16
C3	Конический редуктор	0,2	0,16	0,17
C4	Планетарный редуктор	0,2	0,17	0
C5	Редуктор с разными передачами	0,2	0,17	0

Таблица 10

Вероятности сочетаний соединений передач и исполнительных элементов

Соединение с передачей		C1	C2	C3
Исполнительный элемент		Жесткая компенсирующая муфта	Совмещение опоры исполнительного элемента с валом редуктора	Тихоходная зубчатая передача
C1	Барaban	0,5	0,34	0,34
C2	Канатоведущий шкив	0,25	0,33	0,33
C3	Приводная звездочка	0,25	0,33	0,33

Представленные в табл. 1 – 10 экспертные оценки и вероятности сочетаний не являются эталонными и подлежат постоянному уточнению по мере накопления статистиче-

ских данных о функционирующих в структурах механизмов подъемно-транспортных машин систем приводов и перспективных сочетаний их элементов, в том числе един-

ственно возможных в той или иной проект-

4. Анализ результатов исследования

Предложенные в предыдущем разделе вероятности и экспертные оценки сочетаний были введены в нейронную сеть, описанную в [2] с сохранением параметров предыдущего обучения, также описанного в [2].

На основе анализа результатов запросов к нейронной сети [2] можно сделать следующие выводы:

1. При введении в нейронную сеть запроса «мостовой кран» аналогично [2] получено по 10 хромосом ответов с собственными весами (при 50 итерациях генетического алгоритма в каждом нейроне).

При учете в генетических алгоритмах внутри нейронов экспертных оценок хромосомы и их вычисленные функции приспособленности выглядят следующим образом:

- 1) (C.8., C.4., C.9., C.1., C.2., C.1.) = 294;
- 2) (C.8., C.2., C.8., C.1., C.2., C.3.) = 277;
- 3) (C.8., C.2., C.2., C.1., C.2., C.1.) = 294;
- 4) (C.8., C.2., C.1., C.1., C.2., C.2.) = 373;
- 5) (C.3., C.3., C.9., C.1., C.2., C.3.) = 238;
- 6) (C.8., C.2., C.1., C.1., C.2., C.3.) = 372;
- 7) (C.6., C.1., C.1., C.1., C.2., C.1.) = 286;
- 8) (C.3., C.4., C.1., C.2., C.2., C.1.) = 246;
- 9) (C.7., C.1., C.1., C.1., C.2., C.1.) = 302;
- 10) (C.8., C.2., C.5., C.4., C.1., C.1.) = 216.

Первый нейрон, настроенный входными весовыми коэффициентами на получение результата, соответствующего мостовому крану, синтезировал наилучший результат в 5 из 10 итераций. При этом с учетом результатов обучения, заложенных в выходной нейрон [2], во всех десяти итерациях по общему итоговому весу наилучший результат соответствовал первому нейрону. В данном случае можно сделать вывод о достаточной степени обучения, компенсирующей как особенности входных весов для первого нейрона, так и возможный математический дисбаланс функции приспособленности.

При учете в генетических алгоритмах внутри нейронов вероятностных сочетаний элементов хромосомы и их вычисленные функции приспособленности выглядят следующим образом:

- 1) (C.4., C.3., C.2., C.2., C.1., C.1.) = 22,5;

ной ситуации.

- 2) (C.4., C.3., C.7., C.3., C.2., C.1.) = 21,94;
- 3) (C.8., C.4., C.2., C.1., C.3., C.1.) = 22,07;
- 4) (C.4., C.3., C.8., C.1., C.1., C.1.) = 23,18;
- 5) (C.1., C.1., C.1., C.1., C.3., C.2.) = 19,31;
- 6) (C.1., C.1., C.3., C.1., C.3., C.1.) = 22,12;
- 7) (C.4., C.3., C.7., C.3., C.3., C.1.) = 21,94;
- 8) (C.8., C.4., C.6., C.1., C.2., C.1.) = 18,49;
- 9) (C.4., C.3., C.8., C.4., C.1., C.1.) = 22,38;
- 10) (C.8., C.4., C.8., C.1., C.3., C.1.) = 21,39.

Первый нейрон синтезировал наилучший результат в 1 из 10 итераций. В шести итерациях наилучший результат соответствовал второму нейрону. С учетом результатов обучения, заложенных в выходной нейрон [2], во всех десяти итерациях также по общему итоговому весу наилучший результат соответствовал первому нейрону. В данном случае также можно сделать вывод о достаточной степени обучения, заложенной в выходной нейрон. Физический смысл полученных решений при применении вероятностных коэффициентов значительно более ощутим, нежели при применении экспертных оценок. Из десяти решений девять структур завершаются барабаном. В предыдущем случае – всего шесть.

2. При введении в нейронную сеть запроса «стреловой кран» аналогично [2] получено по 10 хромосом ответов с собственными весами (при 50 итерациях генетического алгоритма в каждом нейроне).

При учете в генетических алгоритмах внутри нейронов экспертных оценок хромосомы и их вычисленные функции приспособленности выглядят следующим образом:

- 1) (C.2., C.1., C.2., C.4., C.2., C.2.) = 263;
- 2) (C.2., C.1., C.1., C.1., C.2., C.1.) = 368;
- 3) (C.1., C.2., C.1., C.4., C.1., C.1.) = 269;
- 4) (C.1., C.1., C.1., C.1., C.2., C.2.) = 364;
- 5) (C.2., C.1., C.1., C.1., C.2., C.1.) = 368;
- 6) (C.8., C.2., C.9., C.1., C.2., C.3.) = 277;
- 7) (C.5., C.1., C.1., C.1., C.2., C.1.) = 292;
- 8) (C.1., C.2., C.1., C.1., C.2., C.3.) = 273;
- 9) (C.2., C.1., C.2., C.1., C.2., C.2.) = 294;
- 10) (C.1., C.1., C.1., C.5., C.2., C.3.) = 300.

Второй нейрон, настроенный входными весовыми коэффициентами на получение результата, соответствующего стреловому крану, синтезировал наилучший результат в 3-х

из 10 итераций. В шести итерациях наилучший результат был сгенерирован первым нейроном. При этом с учетом результатов обучения, заложенных в выходной нейрон [2], во всех десяти итерациях по общему итоговому весу наилучший результат соответствовал второму нейрону. Аналогично выводам по первому нейрону в данном случае можно сделать вывод о достаточной степени обучения нейросети.

При учете в генетических алгоритмах внутри нейронов вероятностных сочетаний элементов хромосомы и их вычисленные функции приспособленности выглядят следующим образом:

- 1) (C.1., C.1., C.4., C.5., C.2., C.1.) = 23,25;
- 2) (C.2., C.1., C.2., C.3., C.1., C.1.) = 24,05;
- 3) (C.1., C.1., C.5., C.4., C.3., C.1.) = 21,49;
- 4) (C.1., C.1., C.3., C.1., C.3., C.2.) = 23,39;
- 5) (C.1., C.1., C.3., C.3., C.1., C.1.) = 23,85;
- 6) (C.2., C.1., C.6., C.1., C.3., C.2.) = 22,79;
- 7) (C.2., C.1., C.2., C.1., C.2., C.1.) = 25,61;
- 8) (C.2., C.1., C.3., C.3., C.1., C.1.) = 23,85;
- 9) (C.2., C.1., C.1., C.2., C.1., C.1.) = 24,7;
- 10) (C.1., C.1., C.5., C.5., C.3., C.1.) = 21,49.

Второй нейрон синтезировал наилучший результат в 5 из 10 итераций. С учетом результатов обучения, заложенных в выходной нейрон [2], во всех десяти итерациях также по общему итоговому весу наилучший результат соответствовал второму нейрону. В данном случае также можно сделать вывод о достаточной степени обучения, заложенной в выходной нейрон. Физический смысл полученных решений при применении вероятностных коэффициентов аналогично первому нейрону значительно более ощутим, в сравнении с применением экспертных оценок. Из десяти решений восемь структур завершаются барабаном. При применении экспертных оценок – всего четыре.

3. При введении в нейронную сеть запроса «лифт» аналогично [2] получено по 10 хромосом ответов с собственными весами (при 50 итерациях генетического алгоритма в каждом нейроне).

При учете в генетических алгоритмах внутри нейронов экспертных оценок хромосомы и их вычисленные функции приспособленности выглядят следующим образом:

- 1) (C.8., C.3., C.1., C.1., C.1., C.2.) = 254;
- 2) (C.8., C.2., C.1., C.1., C.2., C.1.) = 365;
- 3) (C.8., C.4., C.2., C.1., C.2., C.1.) = 268;
- 4) (C.7., C.2., C.9., C.1., C.2., C.1.) = 252;
- 5) (C.3., C.2., C.1., C.1., C.2., C.2.) = 317;
- 6) (C.1., C.3., C.1., C.1., C.2., C.3.) = 267;
- 7) (C.8., C.2., C.1., C.5., C.1., C.3.) = 258;
- 8) (C.5., C.4., C.1., C.1., C.2., C.3.) = 281;
- 9) (C.8., C.4., C.1., C.4., C.2., C.2.) = 262;
- 10) (C.8., C.2., C.1., C.1., C.1., C.1.) = 347.

Третий нейрон, настроенный входными весовыми коэффициентами на получение результата, соответствующего лифту, синтезировал наилучший результат в 3-х из 10 итераций. В пяти итерациях наилучший результат был сгенерирован первым нейроном. При этом с учетом результатов обучения, заложенных в выходной нейрон [2], в четырех итерациях лучший итоговый результат не был сгенерирован третьим нейроном. В данном случае можно сделать вывод о недостаточной степени обучения нейросети, указав, что разброс значений функции приспособленности при вводе экспертных оценок в диапазоне 1...9 ухудшает результат процесса обучения, полученный в [2].

При учете в генетических алгоритмах внутри нейронов вероятностных сочетаний элементов хромосомы и их вычисленные функции приспособленности выглядят следующим образом:

- 1) (C.6., C.5., C.9., C.1., C.3., C.2.) = 21,15;
- 2) (C.4., C.3., C.6., C.1., C.3., C.2.) = 20,96;
- 3) (C.2., C.1., C.8., C.1., C.3., C.2.) = 20,41;
- 4) (C.5., C.2., C.2., C.4., C.2., C.2.) = 19,89;
- 5) (C.2., C.1., C.9., C.1., C.3., C.2.) = 21,51;
- 6) (C.5., C.4., C.4., C.1., C.3., C.2.) = 22,61;
- 7) (C.3., C.2., C.9., C.1., C.3., C.2.) = 21,8;
- 8) (C.5., C.2., C.1., C.1., C.3., C.1.) = 21,17;
- 9) (C.5., C.2., C.5., C.1., C.3., C.2.) = 23,21;
- 10) (C.5., C.2., C.9., C.2., C.1., C.2.) = 19,14.

Третий нейрон синтезировал наилучший результат в одной из десяти итераций. По сравнению с применением экспертных оценок лучший итоговый результат не был сгенерирован третьим нейроном всего в двух итерациях при близких значениях функций приспособленности. В данном случае также можно сделать вывод о недостаточной степени обучения нейросети, однако применение

вероятностных коэффициентов сочетаний уменьшает итоговый разброс результатов. Физический смысл полученных решений при применении вероятностных коэффициентов аналогично первому нейрону значительно более ощутим, в сравнении с применением экспертных оценок. Из десяти решений девять структур завершаются применением канатоведущего шкива. При использовании экспертных оценок – всего три.

5. Заключение

Предложенная в настоящей статье функция приспособленности генетического алгоритма на основе частного случая байесовской сети, в которой учитывается взаимодействие только находящихся рядом уровней, а итоговое значение функции определяется суммированием величин признаков с учетом коэффициентов их возможного взаимодействия, в определенных случаях позволяет получать сравнительно более качественный результат, а именно в отношении линейных функций и применения в качестве коэффициентов сочетаемости весовых коэф-

фициентов в диапазоне 1...9. Результаты работы нейронной сети, описанной в [2], с усовершенствованиями, сформулированными в данной статье, позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение вероятностных коэффициентов сочетаний элементов внутри структур приводов позволяет формировать более точные и близкие к ожидаемым результатам запроса по физическому смыслу решения.

2. В случае недостаточности обучения нейронной сети применение экспертных оценок в диапазоне 1...9 внутри функции приспособленности может значительно усугубить недостатки машинного обучения за счет математической разбалансировки результатов функции приспособленности.

Отдельное внимание в ходе дальнейших исследований стоит уделить анализу результатов при сходных условиях, но в случае значительного увеличения количества циклов генетического алгоритма, что в соответствии с тезисами работы [1] может способствовать получению значительно более качественных и стабильных результатов.

Список литературы

1 Гончаров К.А. Применение генетического алгоритма в процессе синтеза структурных схем приводов механизмов подъема груза // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2025. №4. С. 384 – 391. DOI: 10.22281/2413-9920-2025-11-04-384-391.

2 Гончаров К.А. Синтез структурных схем приводов барабанных механизмов подъемно-транспортных машин на основе архитектуры нейронной сети прямого распространения // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2026. №1. С. 7–15. DOI: 10.22281/2413-9920-2026-12-01-07-15.

3 ГОСТ Р 71476 – 2024. Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта. Введ. 2025 – 01 – 01. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. 54 с.

References

1. Goncharov K.A. Application of a genetic algorithm in the synthesis process of structural diagrams of load-lifting mechanisms drives. Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2025, No.4, pp. 384-391. DOI: 10.22281/2413-9920-2025-11-04-384-391 (In Russian)

2. Goncharov K.A. Synthesis of structural diagrams for drum drives of hoisting and transport machines based on a feed forward neural network architecture. Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2026, No.1, pp. 7-15. DOI: 10.22281/2413-9920-2026-12-01-07-15 (In Russian)

3. GOST R 71476 – 2024. Artificial intelligence – Artificial intelligence concepts and terminology. 2025 – 01 – 01, Russian institute of standardization, 2024. 54 p. (In Russian)